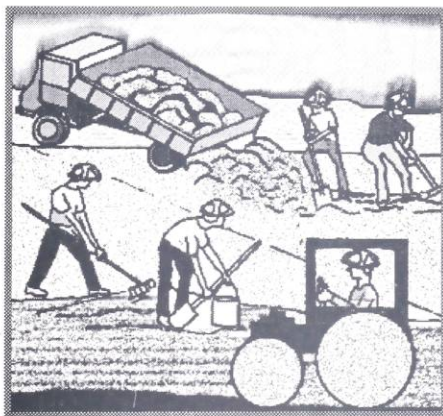


René Domínguez Peña
Salvador Hernández Melgar
Pedro Martínez Mendoza
Fernando Almanza Hernández

Guía para realizar pruebas de laboratorio en materiales para terracerías y pavimentos



**Guía para realizar
pruebas de laboratorio
en materiales
para terracerías
y pavimentos**

Este material fue dictaminado y aprobado por
el Consejo Editorial de la División de Ciencias
Básicas e Ingeniería, el 19 de enero de 1999.

René Domínguez Peña
Salvador Hernández Melgar
Pedro Martínez Mendoza
Fernando Almanza Hernández

Guía para realizar pruebas de laboratorio en materiales para terracerías y pavimentos



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo
Azcapotzalco



División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Materiales
Geotecnia

2893916

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco

Rector
Dr. Adrián Gerardo de Garay Sánchez

Secretaria
Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion

Coordinadora general de Desarrollo Académico
Dra. Norma Rondero López

Coordinador de Extensión Universitaria
D. I. Jorge Armando Morales Aceves

Jefe de la sección de Producción y Distribución Editoriales
Lic. Francisco Javier Ramírez Treviño

Corrección:
Marisela Juárez Capistrán
Ilustración de portada:
Consuelo Quiroz Reyes
Diseño de portada:
Modesto Serrano Ramírez

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180
Col. Reynosa Tamaulipas
Del. Azcapotzalco
C. P. 02200
México, D. F.

© Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco

René Domínguez Peña
Salvador Hernández Melgar
Pedro Martínez Mendoza
Fernando Almanza Hernández

Guía para realizar pruebas de laboratorio
en materiales para terracerías y pavimentos
ISBN: 970-654-511-8

1ª. Edición, 1999
2ª. Reimpresión, 2007
3ª. Reimpresión, 2009

Impreso en México

ÍNDICE

	Pág.
I. Introducción	3
II. Pruebas índice para Terracerías y Pavimentos	7
III. Materiales para Terracerías	8
IV. Prueba Próctor Estándar (Compactación dinámica)	12
V. Prueba Pórtor Estándar (Compactación estática)	20
VI. Prueba del Valor Relativo de Soporte (V.R.S.) Estandar	27
VII. Prueba Modificada de valor relativo de soporte	35
VIII. Obtención del Peso Volumétrico Seco In Situ (% de compactación)	42
IX. Prueba de Valor Cementante	50
X. Prueba de Equivalente de Arena	55
XI. Prueba de Desgaste de Los Angeles	61
XII. Prueba de Intemperismo Acelerado	65
XIII. Prueba de Contracción Lineal	68

I. INTRODUCCIÓN

En el campo de la Ingeniería Civil, se construyen obras de infraestructura de vital importancia que ayudan al desarrollo de cualquier país, principalmente en la tecnología de las vías terrestres, tales como carreteras, ferrocarriles y aeropistas, así como los bordos, presas, muelles y algunas cimentaciones. En cada una de estas obras, es necesario conocer el comportamiento de los suelos antes y después de quedar terminadas, por lo que debe llevarse un estricto control de laboratorio durante el proceso de construcción de las mismas.

En Geotécnia, perteneciente al Departamento de Materiales de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana, actualmente se imparten tres cursos de Geotécnia y uno de Laboratorio, en donde se llevan a cabo nueve pruebas que se consideran básicas para determinar el tipo de material así como el comportamiento mecánico de los suelos, para conocer su grado de compresibilidad y resistencia al soportar cargas estáticas y dinámicas tales como granulometría, límites de Atterberg, peso específico relativo de sólidos (Ss), compresión simple, compresión triaxial, consolidación, etc. Los datos que proporcionan dichos análisis, son utilizados por el Ingeniero para dar solución a diversos problemas geotécnicos y por consiguiente decidir lo pertinente para cada obra en especial.

En este trabajo, se describen las pruebas que pueden considerarse indispensables realizar a los materiales susceptibles de utilizarse en la tecnología de las vías terrestres, pruebas que proporcionan los datos necesarios para conocer la calidad de los suelos, la humedad óptima, y poder calcular el grado de compactación, así como el comportamiento al ejercer sobre él cargas dinámicas, parámetros que nos ayudan en el diseño de los espesores de la diversas capas en que quedará estructurada una obra vial, tales como el cuerpo del terraplén, sub-rasante, sub-base, base y carpeta, tratándose de carreteras y aeropuertos, o el sub-balasto y balasto en ferrocarriles.

A fin de que el alumno que utilice este manual, tenga una idea clara de la estructuración de una obra vial, así como las características necesarias que deben reunir los materiales usados en cada capa, en las figuras a) y b) se presenta la sección de un camino y el de una vía férrea.

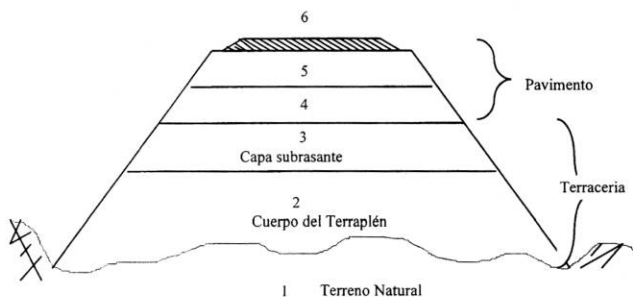


Fig.- a Corte transversal de un camino

En el camino en corte de la figura a), se observa marcado con el número 1, el terreno natural, que como su nombre lo indica, es el suelo que se encuentra en el sitio por donde pasa la línea, por lo que, puede ser muy variable con características que van de muy buena calidad a definitivamente suelos malos.

La capa 2 se le denomina cuerpo del terraplén, que en la mayoría de los casos se forma con el producto del material del corte más cercano que por sus propiedades puede ser muy bueno, se usa también un material acarreado de un banco que sea de calidad superior al del terreno natural, si se puede, tratando siempre de que por ningún motivo sea arcilla franca de las denominadas CH.

El número 3 se refiere a una sección que es de máxima importancia en un camino, llamada capa sub-rasante. De su comportamiento dependen los espesores de las capas superiores que en su conjunto forman el pavimento, por tal motivo, deberá construirse utilizando material de un banco de préstamo que reúna las características de una arena limosa ó limo arenoso que pueda alcanzar un alto grado de compactación con valor relativo de soporte (VRS) mínimo de 20, de manera que pueda cumplir con el requisito necesario de poder soportar fuertes cargas, y contar con el drenaje adecuado, aclarando que la capa sub-rasante y el cuerpo del terraplén forman parte de las llamadas terracerías de un camino.

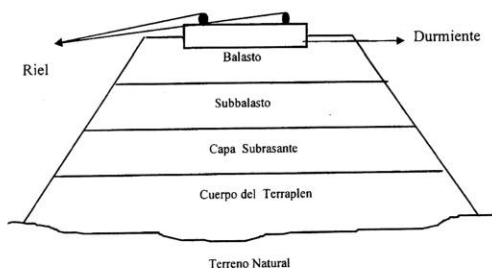
En la figura, la subbase esta indicada con el número 4 y en el contacto de esta con la sub-rasante inicia el pavimento de un camino, es una capa que puede considerarse de transición entre la base y la sub-rasante. En ciertos casos puede eliminarse dependiendo de la calidad del material que forma la sub-rasante, así como el número de vehículos utilizados en el diseño del pavimento. El material utilizado para formar la sub-base, deberá cumplir con una calidad mínima de grava arena.

Respecto a la capa de base, se marca con el número 5, se le considera de importancia fundamental en el diseño de un pavimento, ya que es la capa que soporta las cargas en forma inmediata, su espesor depende del material de sub-rasante utilizado, además de que si en el diseño se consideró la capa de sub-base, el material utilizado en la base deberá ser de óptima calidad y por lo general procede de un banco de grava o roca triturada.

Con el 6 se indica la carpeta, que es la capa de rodamiento o cinta asfáltica, el material utilizado deberá cumplir con las normas de calidad necesarias para soportar el desgaste, dureza y afinidad con el asfalto, por tal motivo deberá ser producto de la trituración de la roca sana o grava triturada producto de la explotación de un banco.

Lo anterior también sirve para diseñar los espesores de pavimentos de los aeropuertos. La variación más notable de esta obra con una carretera, son los tipos de cargas que se utilizan para el diseño, así como el número de despegues y ancho de la pista. Tipo de avión DC-4, Boeing 727, etc., así como el tránsito diario estimado en la pista.

Respecto a las vías férreas, la estructuración es similar a la de un camino, sustituyendo únicamente las capas que forman el pavimento, por una capa de sub-balasto que se construye sobre la subrasante, usando material granular que cumpla con las características de una sub-base, con espesor aproximado de 15 cm.; y una capa denominada de balasto (roca triturada de tamaño máximo controlado), que en México se le da un espesor que varía de 30 a 50 cm. (Fig b).



(b)

Es conveniente aclarar que en este trabajo no se incluyen las pruebas más comunes o usuales que generalmente se realizan a todos los suelos para poderlos ubicar en la carta de plasticidad y proporcionarles un símbolo de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Tales como: contenido de agua o humedad (ω), densidad de sólidos (S_s), peso volumétrico suelto y varillado (γ), granulometría y contracción lineal, así como los límites de consistencia o de Atterberg. Dichos ensayos se ilustran en el manual de pruebas de laboratorio de Mecánica de Suelos, que es el complemento del curso de Geotécnia I, que forma parte del plan de estudios de la licenciatura de Ingeniería Civil.

A continuación se indican todas las pruebas que se pueden realizar a los materiales para terracerías y pavimentos quedando excluidas las mencionadas anteriormente y presentándose en forma detallada los ensayos que se considerarán más especializados.

II. PRUEBAS ÍNDICE PARA TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS

- 1) Humedad
- 2) Densidad de sólidos
- 3) Peso volumétrico suelto y varillado
- 4) Granulometría
- 5) Límites de consistencia
- 6) Contracción lineal
- 7) Próctor estándar
- 8) Pórtor estándar
- 9) Pórtor modificada
- 10) Valor Relativo de Soporte
- 11) Cuerpo de Ingenieros
- 12) Peso volumétrico seco In Situ (% de compactación).
- 13) Valor cementante
- 14) Equivalente de Arena
- 15) Desgaste de Los Angeles
- 16) Intemperismo acelerado.

III. MATERIALES PARA TERRACERÍAS

En la naturaleza existen infinidad de materiales que pueden usarse en las capas que forman las terracerías, pueden ser de préstamos laterales, cortes o bancos, de donde se muestreará el material para su estudio. Hecha la extracción deberán llevarse las muestras de suelo al laboratorio y efectuarles los ensayos correspondientes, para conocer sus características físicas y mecánicas, y comprobar si cumplen con las especificaciones necesarias.

Por lo anterior, es condición indispensable que las muestras que se obtengan de las terracerías ya construidas o de bancos de préstamo que vayan a utilizarse en la construcción de las obras, sean verdaderamente representativas del suelo o suelos de que se trate.

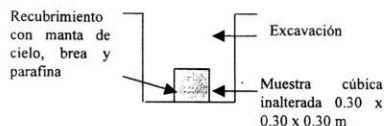
Las muestras pueden ser de dos tipos:

- a) Muestras inalteradas: Son aquellas en las que se conserva la estructura del suelo y su humedad natural (muestras cúbicas o núcleos de roca).
- b) Muestras alteradas: Están constituidas por el material disgregado ó en trozos, en las que no se ha tenido la precaución de conservar sus características de estructura y humedad.

Para el caso que nos ocupa, Materiales para Terracerías, es común, que las pruebas se efectúen a muestras alteradas de suelo. Las que pueden obtenerse de una simple excavación, así como de un corte o banco de préstamo. También pueden extraerse de perforaciones hechas con herramientas especiales, tales como posteadoras, brocas tricónicas, barrenos helicoidales, etc.

MUESTREO EN POZOS A CIELO ABIERTO (PCA) Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL

Para obtener la muestra, será necesario excavar un pozo a cielo abierto que denominaremos (PCA-1). Al llegar a la profundidad deseada, en el fondo del sondeo, se traza un cuadrado de 0.30 x 0.30 m. Excavándose alrededor de él otros 0.30 m., hasta formar una muestra cúbica inalterada la cual deberá protegerse cubriéndola con manta de cielo, brea y parafina ó plástico, de tal forma que no pierda sus propiedades físicas, e inmediatamente trasladarla al laboratorio para efectuarle las pruebas necesarias.



PCA-1

También se puede muestrear cada estrato realizando un canal vertical en las paredes de la excavación, la cantidad de muestra necesaria para realizar los ensayos será de 50 kg. o más si se requiere.

El material producto del muestreo, deberá envasarse en costales bien cerrados, impidiendo la pérdida de material fino, amarrando la boca del costal con un cordel.

Cada costal deberá identificarse con dos tarjetas, una sujeta al exterior y otra en su interior con los siguientes datos:

- Obra
- Ubicación
- No. de muestra.
- Profundidad
- Nombre del banco de préstamo
- Tipo de material

Una vez que las muestras alteradas se encuentran en el Laboratorio, se sujetan a las siguientes operaciones:

- a) Secado
- b) Disgregado
- c) Cuarteo.

a) **Secado:** Si la muestra del suelo está muy húmeda, deberá eliminarse el agua que contiene, de tal manera que permita su fácil disgregación y manejo. Para tal fin se expondrá al sol extendiendo toda la muestra en una superficie limpia, o bien en charolas de lámina.

b) **Disgregación:** El suelo se disgrega para efectuar la separación de las diferentes partículas de materiales que lo constituyen, de tal forma que posteriormente pueda ser mezclado y cuarteado, obteniéndose las porciones representativas del mismo, en donde se efectuarán las diferentes pruebas a que vaya a ser sometido el material.

La disgregación, se hará con un mazo de madera de forma prismática cuadrangular, con las siguientes dimensiones: Altura 15 cm. y 9.5 cm. de base.

El peso del mazo es de aproximadamente 1 kg. y deberá estar forrado en la base ya sea con hule o baqueta (Fig. 1).

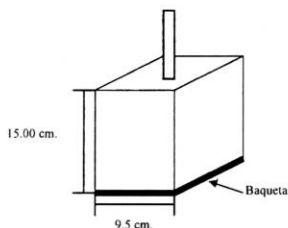


Fig. - 1.

El trabajo de disgregación del material se hará en charolas de lámina, el mazo deberá golpear verticalmente sobre el material dejándolo caer de una altura no mayor de 20 cm., la muestra ya disgregada se mezcla perfectamente para continuar con la etapa de cuarteo.

- c) **Cuarteo:** De acuerdo con la cantidad de muestra disponible, se puede seguir el siguiente procedimiento de cuarteo:

En muestras de 40 kg. ó más, deberá revolverse el material con una pala, traspaleando de un lugar a otro cuando menos cuatro veces, hasta que la mezcla se presente homogénea.

Una vez homogeneizada la muestra, se procederá a formar un cono utilizando una pala, se irá colocando el material sobre el vértice de la primera porción, permitiendo que por si mismo busque su acomodo. Hecho lo anterior se hará un cono truncado encajando la pala en forma radial y haciéndola girar con centro en el eje del cono a fin de ir desalojando el material hacia la periferia. Ya obtenido el cono truncado, se procederá a dividirlo en cuatro partes usando una regla de longitud conveniente.

REFERENCIAS

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Alfonso Rico - Hermilo del Castillo. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Vol. I y II. México, 1984.
3. Fernando Olivera Bustamente. *Estructuración de vías terrestres*. México, 1986.
4. Secretaria de Recursos Hidráulicos. *Manual de Mecánica de Suelos*, Tomo I. México, 1967.
5. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnica Aplicada*. U.A.M. México, 1967.

IV. PRUEBA PROCTOR ESTÁNDAR (COMPACTACION DINÁMICA)

Este ensayo se realiza únicamente a suelos que pasan la criba No. 4 (4.76 mm.), ó que el retenido en esta malla sea de aproximadamente 10%, pero que pasen totalmente por la criba de 3/8" (9.52 mm.). No debe efectuarse en arenas, tezontles y en todos aquellos materiales que carecen de cementación.

Con esta prueba se determina el peso por unidad de volumen del suelo, así como la resistencia a la penetración de un suelo que se ha compactado por cualquier procedimiento dinámico para distintos contenidos de humedad.

La Próctor estándar se utiliza principalmente para reproducir en el laboratorio la compactación que se puede obtener en el campo con el equipo denominado pata de cabra o similares. (Compactación por amasado en suelos finos.)

Los objetivos de la prueba son:

- a) Determinar el peso volumétrico seco máximo del suelo y la humedad óptima a que se alcanza dicho peso volumétrico (P.V.S.M.) en el Laboratorio compactando el suelo por capas.
- b) Encontrar el porcentaje de compactación alcanzado por los suelos durante la construcción de las terracerías, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar, con el peso volumétrico Próctor de compactación obtenido en el laboratorio.

EQUIPO DE UTILIZADO:

- Molde para compactación Proctor Estándar, provisto de collarín y base. (Fig. 2)

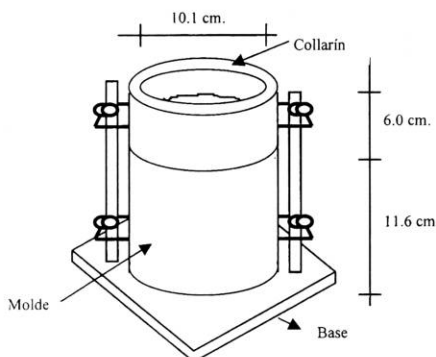


Fig. - 2

- Martillo de golpe. (Fig. -3).
- Charola de lámina
- Probeta graduada de 100 ml.
- Espátula de cuchillo y regla metálica.
- Báscula de 20 kg. de capacidad.
- Balanza de 2.160 kg. de capacidad.
- Cucharón de lámina
- Horno de temperatura
- Constante
- Cápsulas de aluminio (previamente numeradas y taradas.)
- Criba No. 4

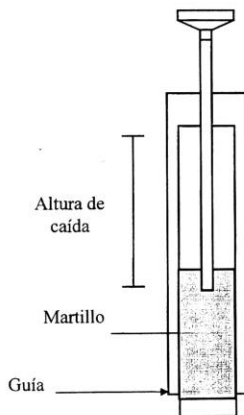


Fig. - 3

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN PRUEBA PROCTOR

Para determinar la energía de compactación, se puede emplear la siguiente fórmula:

$$E = \frac{WHN}{V} \div 3$$

DONDE:

- E = Energía de compactación, en kg. - cm./cm³.
- W = Peso del martillo en kg.
- H = Altura de caída en cm.
- V = Volumen total de la probeta compactada en cm³.
- N = Número de golpes

Ejemplo:

Utilizando los datos anteriores y con los siguientes valores:

E = 6.1 kg. - cm./cm³., usual en la Prueba Proctor Estándar.

W = 2.492 kg.

H = 30.5 cm.

V = 929.376 cm³.

N = Número de golpes por capa.

$$E = \frac{(2.492)(30.5)(25)}{929.376} \div 3$$

E = 6.1 kg. - cm /cm³

Despejando N (Número de golpes) de la fórmula , se tiene:

$$N = \frac{EV}{WH}$$

Sustituyendo:

$$N = \frac{(6.1) (929.376)}{(2.492) (30.5)} = 75 \text{ golpes}$$

Como el suelo se compacta dentro del cilindro en tres capas, el número de golpes por capa será:

$$\frac{75}{3} = 25 \text{ golpes}$$

DESARROLLO DE LA PRUEBA

- a) Del suelo que pasa la criba No. 4, se pesan 3 kg. colocándose en la charola y adicionándole cierta cantidad de agua.

El agua que se le agregue, será la necesaria para que una vez que se mezcle perfectamente con el suelo, éste presente una consistencia tal, que al ser comprimido en la palma de la mano no deje humedad ni partículas en ella, (Humedad óptima). Después se pesa el molde y se anotan sus dimensiones para obtener su volumen. Posteriormente se arma con su base y collarín para formar un cilindro, Fig. 2.

- b) Con el cucharón se vacía en el cilindro, suelo suficiente hasta obtener una capa de ± 8 cm. de espesor que al ser compactada se reduce a ± 4.5 cm.

- c) Esta primera capa se compacta con 25 golpes los cuales se reparten uniformemente en toda la superficie, usando el martillo de golpe que se elevará hasta tocar la parte superior de la guía, para que la altura de caída sea siempre la misma 30.5 cm. (Fig. - 4).

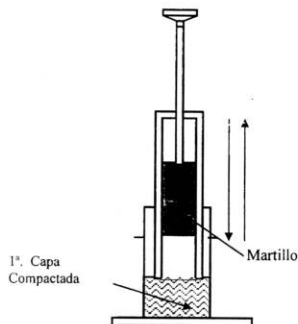


Fig.- 4

- d) La parte superior de la primera capa compactada en el cilindro, se escarificará con la espátula de cuchillo, para que la siguiente capa al ser compactada se adhiera perfectamente.
- e) Con el cucharón se vuelve a vaciar suelo en el cilindro para obtener la segunda capa, que agregada a la primera nos marque una altura de 11 a 12 cm. que se reducirá a ± 9 cm. compactándola a golpes igual que la primera, escarificándola en la parte superior para que se ligue perfectamente a la siguiente capa.
- f) El mismo procedimiento se sigue para la tercera capa, procurando que efectuada la compactación, la superficie esté de 1 a 2 cm. arriba del collarín (Fig. - 5).
- g) Al terminar de compactar las tres capas, con la espátula de cuchillo se recorre el perímetro interior del collarín para despegar el suelo, se quita el collarín con mucho cuidado, se enrasa el suelo en la parte superior de el molde con la espátula de cuchillo y el enrasador. (Fig. - 6).

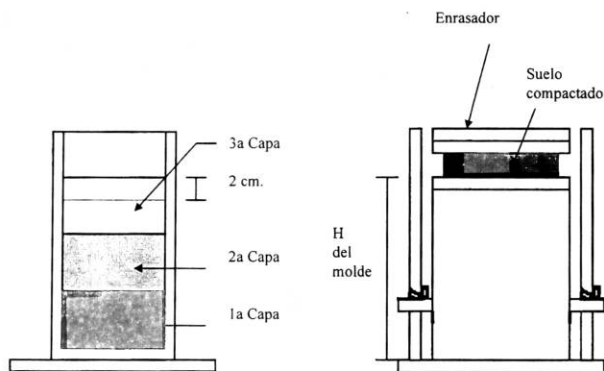


Fig. - 5

Fig. - 6

- h) Se limpia el molde perfectamente, se separa de la base y se pesa en la báscula molde y suelo compactado, anotando el valor en la columna peso del molde + suelo húmedo en gr. (lámina No. 1).
- i) Se extrae el suelo del molde y se toma una porción pequeña de la parte central colocándola en una cápsula de aluminio, se pesa anotando el valor en la columna, peso de la cápsula + suelo húmedo en gr., se introduce al horno de secado para determinar su contenido de agua. De esta manera se obtienen los datos ó coordenadas de un punto en la gráfica de compactación (contenido de agua % peso volumétrico seco ton./m^3), fórmula 3.
- j) El suelo compactado que se extrae del molde se disgrega, hecho lo anterior, se le agrega agua en cantidad suficiente para aumentar su humedad, aproximadamente entre un 2 a 5%, y se vuelven a repetir los pasos desde el inciso b) al i).
- k) La gráfica de compactación queda definida con 5 puntos, 3 de ascenso al irse incrementando el peso volumétrico seco y 2 de descenso al disminuir este valor.

Al agregar agua en cada ensayo y apisonar el suelo, aumenta su grado de compactación, hasta llegar a un punto que corresponde a la humedad óptima (ω óptima), la cual estará relacionada con el máximo peso volumétrico seco. Después de este máximo PVS obtenido con la prueba, podemos observar que al ir

incrementando la cantidad de agua, el valor del peso volumétrico disminuye debido a que se provoca un aumento del volumen de los huecos en el suelo, así como la sustitución de partículas de suelo por agua.

CÁLCULO

1.- Peso del suelo húmedo: W_m

$$\text{Peso del molde} + \text{suelo húmedo} - \text{peso del molde} = [\text{gr.}]$$

2.- Peso volumétrico húmedo: γ_m

$$\gamma_m = \frac{\text{peso del suelo húmedo}}{\text{volumen del molde}} = [\text{kg./cm}^3] \text{----- (1)}$$

3.- Contenido de agua: $\omega\%$

$$\omega = \frac{W_\omega}{W_d} \times 100 = [\%] \text{----- (2)}$$

Donde:

W_ω = Peso del agua

W_s = Peso del suelo seco

4.- Peso volumétrico seco: γ_d

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{\frac{\omega}{100} + 1} = [\text{kg/ cm}^3] \text{----- (3)}$$

5.- Finalmente, con los valores obtenidos ($\omega\%$, γ_d), se dibuja la curva de compactación Próctor, localizándose en la curva el peso volumétrico seco máximo, correspondiente a una humedad óptima (lámina No. 1).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - AZCAPOTZALCO

COMPACTACION

OBRA No. _____
 LOCALIZACION _____
 ENSAYE No. _____ SONDEO No. _____
 MUESTRA No. _____ PROFUNDIDAD _____
 DESCRIPCION _____

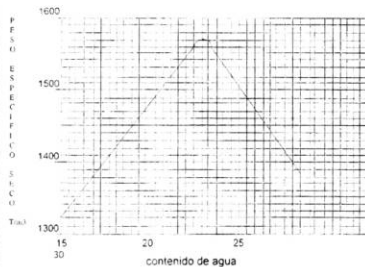
Tipo de Prueba PROCTOR ESTANDAR

Molde No. 4 Vol. 929.4 cm³ Peso 1968 gr
 Peso Martillo 2506 gr No. Capas 3
 Altura Caída 30.5 cm
 No de Golpes por Capa 25

FECHA _____

DETERMINACION No.	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (gr)	3424	357	3692	3736	372
Peso molde (gr)	196	196	196	196	196
Peso suelo húmedo (gr)	145	160	172	176	175
Peso específico húmedo (T / m ³)	1.56	1.72	1.85	1.90	1.88
Capsula No.	4	62	9	39	80
Peso capsula+suelo húmedo (gr)	28.9	38	34.6	38.7	32.4
Peso capsula+suelo seco (gr)	25.9	33.2	29.8	32.2	27
Peso del agua (gr)	3	4.9	4.8	6.5	5.3
Peso capsula (gr)	7.54	8.03	8	7.5	7.5
Peso suelo seco (gr)	18.3	25.37	21	24.7	19.5
Contenido de agua	16.3	19.4	22.02	26.32	27.05
Peso específico seco (T/m ³)	1.34	1.44	1.5	1.50	1.48
Relacion de vacios e					

Peso específico seco = $\frac{\text{Peso específico seco}}{1 + \text{Contenido de agua}}$



$\gamma_d = \frac{S_s \gamma_o}{1}$
 $\gamma_d \text{ max} = 1.570 \text{ T/m}^3$
 $w \text{ opt.} = 24.10 \%$

Datos de saturación

Gw w γ_d

 Gw _____

Observaciones _____

Lámina No. 1.

REFERENCIAS

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Secretaria de Recursos Hidráulicos. *Manual de Mecánica de Suelos*, Tomo I. México, 1967.
3. Juárez Badillo - Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos*, Tomo I. Tercera Edición. México, 1990.
4. Alfredo I. Martínez. *Exploración, muestreo y ensaye de suelos*. E.S.I.A. I.P.N.
5. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnica Aplicada*. U.A.M. México, 1967.
6. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M.México, 1995.

V. PRUEBA PÓRTER ESTANDAR (COMPACTACIÓN ESTÁTICA)

OBJETIVO:

- Determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas utilizados en la tecnología de los pavimentos.
- Encontrar el porcentaje de compactación, alcanzado por el suelo durante la construcción de una obra, sean terracerías ó pavimentos ya construidos, relacionando el peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio, con el peso volumétrico determinado en el campo.
- La prueba consiste en preparar especímenes que pasan la criba o malla de 1" (25.4 mm.), agregando posteriormente diferentes cantidades de agua, compactando con carga estática.

EQUIPO DE PRUEBA

- Molde para compactación Pórtér Estándar provisto de collarín y base. (Fig. - 7).
- Máquina de compresión con capacidad mínima de 30 ton. (Fig.- 8).
- Varilla con punta de bala.
- Charola de lámina.
- Cucharón de lámina.
- Probeta graduada de 500 ml.
- Báscula de 20 kg. de capacidad .
- Balanza de 2.610 kg. de capacidad .
- Cápsulas de aluminio (previamente numeradas y taradas.)
- Horno de temperatura constante.
- Criba d

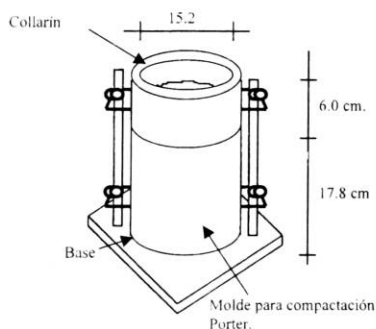
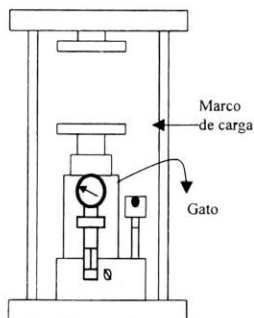


Fig.-7



Máquina de Compresión de 30 ton.
Fig.-8

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:

- a) En este ensayo se trabaja con el producto del suelo que pasa la criba de 1 pulgada, utilizando una porción de 5 kg. los cuales se depositan en la charola, agregando el agua necesaria e incorporándola uniformemente en el suelo, hasta que éste alcance la humedad óptima necesaria.
- b) Una porción de suelo ya húmedo, se pone en una cápsula de aluminio para determinar su contenido de agua, que será la humedad óptima de la prueba (ω_o%).
- c) Una vez que se tiene armado el cilindro con su base y collarín, con la tercera parte de los 5 kg. se construye la primera capa, introduciendo el suelo dentro del cilindro y posteriormente con la varilla de punta de bala se le aplican 25 golpes uniformemente distribuidos, la misma operación se efectuará con las otras dos partes que formarán la segunda y tercera capa, procurando que los golpes se den en cada capa, es decir, sin recomprimir a las de abajo (Fig. - 9).

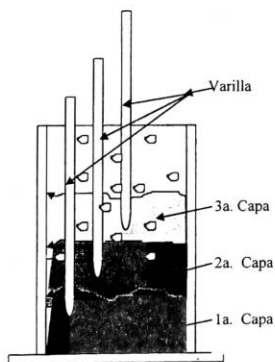


Fig. - 9

- d) Al terminar de aplicar los 25 golpes de la última capa, el conjunto molde-suelo se coloca en la base de la máquina de compresión para compactar el suelo, aplicando carga en forma lenta, de modo que en 5 minutos se alcance la presión de 140 kg/cm². (25.5 ton. aprox.), esta carga máxima se mantendrá un minuto para evitar que el material se expanda, enseguida se descarga lentamente en un minuto. (Fig. - 10).

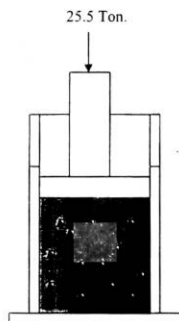


Fig. - 10

- e) El molde con el suelo compactado se retira de la máquina de compresión, se quita la base y se revisa con cuidado, si presenta una ligera humedad, habrá alcanzado la humedad óptima de compactación así como su peso volumétrico seco máximo.
- f) Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, indica que la humedad con que se preparó la primera muestra es inferior a la óptima; por lo tanto, se usa otra porción de suelo de 5 kg., agregándole una mayor cantidad de agua, siguiendo los pasos de los párrafos a), b), c) y d).

Deberán prepararse los especímenes que sean necesarios y se seguirán los pasos indicados, hasta lograr que en uno de ellos se inicie el humedecimiento de la base del molde al aplicar la carga máxima, con experiencia esto se logra generalmente en la cuarta muestra preparada.

- g) Si antes de llegar a la carga máxima, en la ranura inferior del molde se presenta escurrimiento de agua (lagrimeo), indica que la humedad es superior a la óptima, por lo tanto se analiza otra porción de suelo de 5 kg. agregando una cantidad de agua menor que la anterior, siguiendo la misma secuencia de las operaciones antes mencionadas.
- h) Una vez que se tiene la compactación del espécimen con la humedad óptima, se determina su volumen. Para hacerlo se mide en la parte superior del molde el nivel al que se encuentra el suelo compactado dentro de él. Deberán efectuarse por lo menos cuatro medidas diametralmente opuestas y promediarlas, con este promedio restado a la altura total del molde se obtiene la altura total del espécimen. Se registra este valor en centímetros, aproximándolo al décimo de mm. (Fig.- 11).

- i) El molde con el espécimen compactado se pesa en kg., restando el peso del molde se obtiene el peso total del suelo compactado.

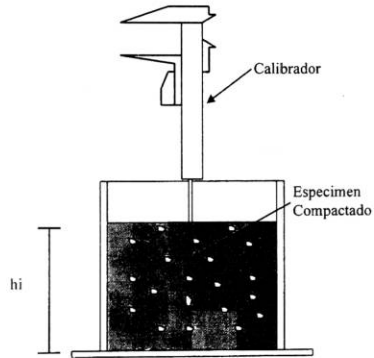


Fig. - 11

CÁLCULO

1. - Volumen del suelo compactado dentro del cilindro

$$V = (a_i) (h_i) = [\text{cm}^3.]$$

- 2 - Peso volumétrico húmedo γ_m

$$\gamma_m = \frac{W_i}{V} = [\text{kg/cm}^3.]$$

- 3 - Peso volumétrico seco. γ_d

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{\frac{w\%}{100} + 1} = [\text{kg/cm}^3.]$$

DONDE:

h_i = Altura del suelo compactado

W_i = Peso del suelo compactado

V = Volumen del suelo compactado

a_i = Área del espécimen.

EJEMPLO:

$$1. V = 181.46 \times 14.3 = 2595 \text{ cm}^3.$$

$$2. \gamma_m = \frac{5000}{2.595} = 1.927 \text{ kg/cm}^3.$$

$$3. \gamma_d = \frac{1.927}{1.165} = 1.654 \text{ kg/cm}^3.$$

OBTENEMOS:

$$\gamma_m = 1.927 \text{ kg/cm}^3.$$

$$\gamma_d = 1.654 \text{ kg/cm}^3.$$

$$\omega_o = 16.5 \% \text{ (humedad óptima)}$$

DONDE:

$$\gamma_m = PVH$$

$$\gamma_d = PVS$$

$$\omega_o = HO \text{ (humedad óptima)}$$

(Ver Lámina No. 2)



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - AZCAPOTZALCO

Valor relativo de soporte

Procedencia: _____
 Sondeo No.: _____ Pozo No.: _____ Prof.: _____ mts.
 Clasificación: Porter Estandar
 Observaciones: _____
 Fecha: _____

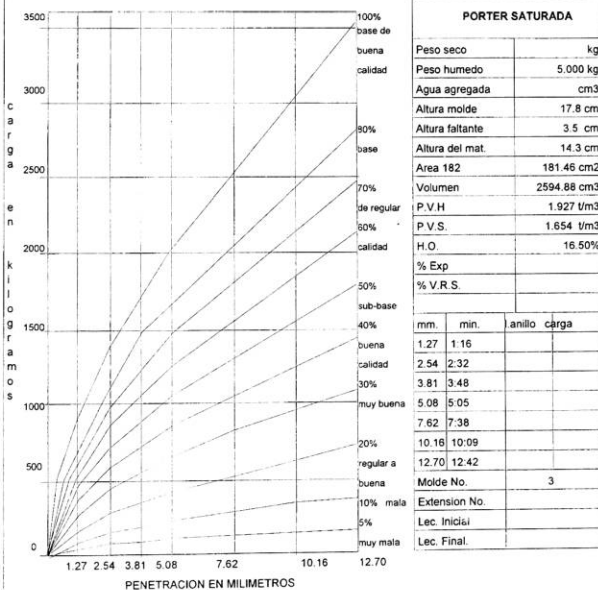


Lámina No. 2

REFERENCIAS

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Alfonso Rico - Hermilo del Castillo. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Vol. I y II. México, 1984.
3. Fernando Olivera Bustamente. *Estructuración de vías terrestres*. México, 1986.
4. Juárez Badillo - Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos*, Tomo I. Tercera Edición. México, 1990.
5. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnica Aplicada*. U.A.M. México, 1967.
6. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M. México, 1995.

VI. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (V.R.S.) ESTANDAR

Con esta prueba se determina la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración de un espécimen compactado que haya alcanzado su peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima; sujeto a un determinado tiempo de saturación a fin de medir su grado de expansión.

Para obtener el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima de un suelo, se sigue el procedimiento indicado en la prueba de compactación Pórtér Estándar.

EQUIPO UTILIZADO PARA LA PRUEBA (V. R. S.) ESTANDAR

Además del que se usó en la Prueba Pórtér, se utilizará el siguiente:

- Placa coladera con vástago, sobre el que se apoyará el pie del micrómetro . (Fig. - 12).
- Placas de carga, con un peso total de 4.520 kg. (Fig. - 13).
- Tripié metálico para sostener el micrómetro durante la saturación (Fig. - 14).
- Marco de compresión con anillo de carga, provisto de penetrómetro. (Fig. No. 15).
- Hojas de papel filtro de 14.9 cm. de diámetro.
- Micrómetro de 20 mm. de capacidad y 0.01 mm. de aproximación.

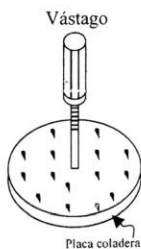


Fig.-12



Fig.-13

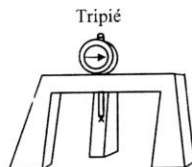


Fig.-14

DESARROLLO DE LA PRUEBA

- a) Una vez que se tiene dentro del cilindro el espécimen compactado con la humedad óptima, se instala el collarín al cilindro, con una o dos hojas de papel filtro colocados en la parte superior del suelo, además de la placa coladera y las placas de carga necesarias para producir sobre el espécimen una sobrecarga igual a la del pavimento ± 2.250 kg. de peso, pero no mayor de 4.500 kg., introduciendo todo el conjunto en el tanque de saturación, procurando que el agua lo cubra totalmente. (Fig. - 16).
- b) Para poder medir la expansión del espécimen, sobre los bordes del collarín que esta unido al molde, se coloca el tripie con su micrómetro, apoyándolo sobre el vástago de la placa perforada, anotando la lectura inicial, antes de que se inicie la saturación. (Fig. - 16).

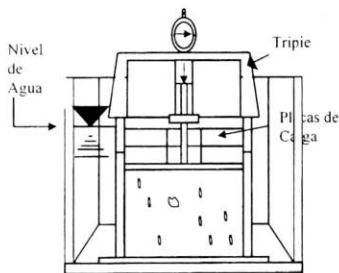


Fig. - 16

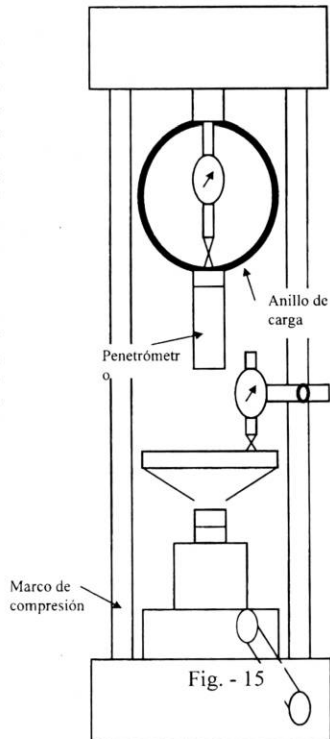


Fig. - 15

- c) El espécimen deberá mantenerse sumergido en el agua durante 72 horas. Al término de este tiempo se anota la lectura final del micrómetro, el conjunto de suelo, cilindro y tripié se retiran del tanque, y posteriormente se sujeta la muestra de suelo a la penetración.
- d) El valor de la expansión, será la diferencia de lecturas del micrómetro, final e inicial expresada en mm. Y dividido entre la altura del espécimen en mm. Este cociente será multiplicado por 100 para obtenerlo en porcentaje.
- e) El molde se acuesta con mucho cuidado dejándolo en esta posición por aproximadamente 15 minutos para que escurra el agua.
- f) Cuando el agua ha escurrido, se quita la placa coladera y el papel filtro, poniendo nuevamente el conjunto restante en el marco de carga, se le da vuelta a la manivela a fin de que el penetrómetro pase a través de los orificios de las placas de carga hasta tocar la superficie del suelo, en ese instante, el micrómetro instalado en el anillo de carga comenzará a marcar, empezando así la prueba de penetración. Fig. - 17.
- g) Se aplica una carga inicial no mayor de 10 kg. y se ajusta el micrómetro para registrar el desplazamiento vertical del vástago de penetración.
- h) Se aplican cargas adicionales para que el pistón penetre en el espécimen con velocidad uniforme de aproximadamente 1.27 mm. por minuto de acuerdo a la siguiente Tabla:

LECT. DEL MICR. MM.	TIEMPO MIN.	CARGA kg.
1.27	1:16	
2.54	2:32	
3.81	3:48	
5.08	5:05	
7.62	7:35	
10:16	10:09	
12.70	12:42	

- i) Cuando se han aplicado todos los incrementos de carga al espécimen, se descarga lentamente; posteriormente se saca el molde del marco de carga midiéndose la profundidad de la penetración. (Fig. - 17).

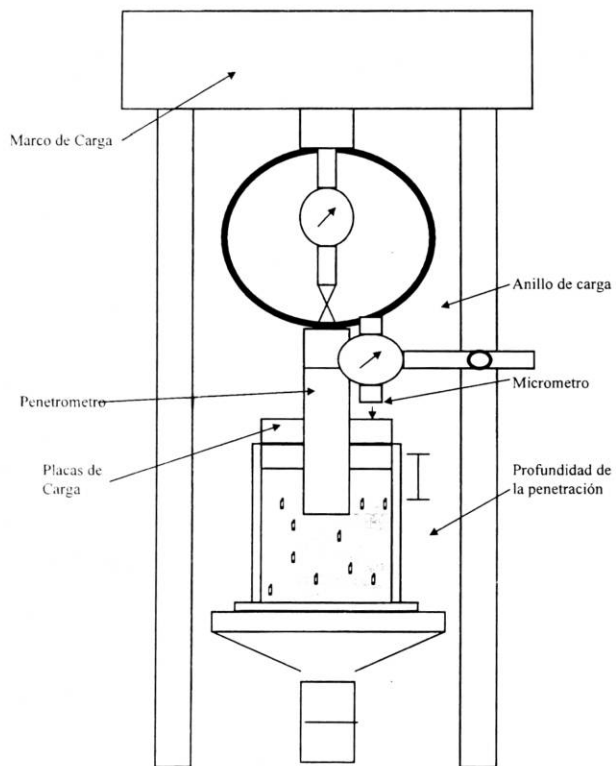


Fig. - 17

CÁLCULO:

1. Expansión:

$$\text{Exp.} = \frac{L_f - L_i}{h_i} \times 100 = \%$$

DONDE:

L_i = Lectura inicial sin saturar (mm.)

L_f = Lectura final saturado. (mm.)

h_i = Altura inicial del espécimen (mm.)

2. Cargas:

$$\text{Cargas} = \text{Lect. del anillo} \times K \text{ en kg.}$$

DONDE:

K = Constante del anillo de carga.

3 - V.R.S.

$$\text{V.R.S.} = \frac{C}{1360} \times 100$$

DONDE:

C = La carga registrada para la penetración de 2.54 mm.

1360 = Carga estándar en kg.

4. Se gráfica la carga en kg. contra la penetración respectiva. Con el resultado obtenido en esta prueba, se clasifica el suelo haciendo uso de la tabla No. 1, donde se indica el empleo que puede dársele al suelo, de acuerdo con su valor relativo de soporte (V.R.S.)

ZONA	V. R. S.	CLASIFICACIÓN
1	0 - 5	Sub-rasante muy mala
2	5 - 10	Sub-rasante mala
3	10 - 20	Sub rasante regular a buena
4	20 - 30	Sub-rasante muy buena
5	30 - 40	Sub - base buena
6	50 - 80	Base buena
7	80 -100	Base muy buena

TABLA No. 1.

La reproducción de la zonas indicadas en el cuadro anterior, pueden verse en la lámina No. 3.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - AZCAPOTZALCO

Valor relativo de soporte

Procedencia: _____
 Sondeo No.: _____ Pozo No.: _____ Prof.: _____ mts.
 Clasificación: _____
 Observaciones: Material modificado al 95% respecto a Proctor
 VRS = 67.42 % **BASE BUENA** Fecha: _____

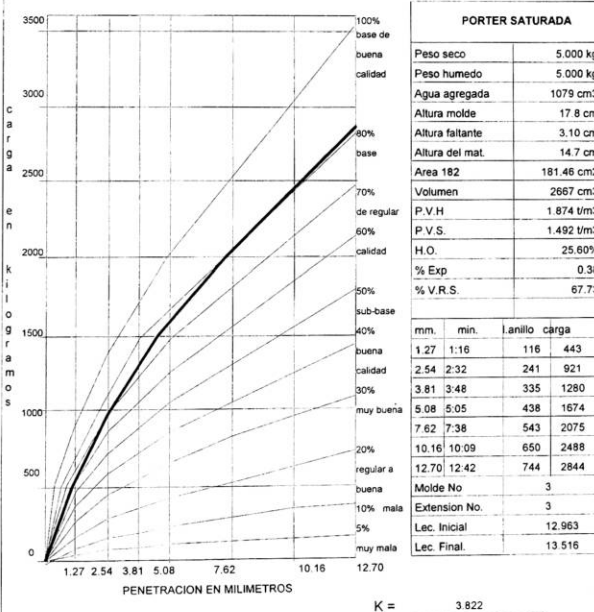


Lámina No. 3

2893916

REFERENCIAS

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Fernando Olivera Bustamente. *Estructuración de vías terrestres*. México, 1986.
3. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnica Aplicada*. U.A.M. México, 1967.
4. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M. México, 1995.

VII. PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Con este ensayo de laboratorio se determina el valor relativo de soporte de un suelo, en pavimentos se utiliza el V.R.S. para calcular el espesor mínimo de la capa o capas que deberán colocarse encima del suelo al cual se le hace la prueba, a fin de que las cargas vivas y muertas que se le apliquen, no le produzcan esfuerzos que puedan ocasionarle deformaciones permanentes perjudiciales.

Es condición primordial para realizar esta prueba, que en el laboratorio el suelo permita la incorporación uniforme del agua.

La prueba consiste en medir la resistencia a la penetración en especímenes de suelo que han sido compactados, reproduciendo los pesos volumétricos correspondientes a diferentes grados de compactación, con el empleo de las humedades que se indican más adelante.

En el caso de suelos finos, previamente deberá efectuarse la Prueba Proctor Estándar; en el caso de suelos granulares la Prueba Pórtor Estándar, con el objeto de conocer en ambos suelos el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima, datos que nos permitirán reproducir los pesos volumétricos a los que nos interesa medir o determinar el V.R.S.

Deberán seleccionarse las humedades de prueba $\omega\%$, de acuerdo con las condiciones de precipitación pluvial de la región y el drenaje de las terracerías, aplicando el siguiente criterio:

En terracerías bien drenadas, construidas en regiones de precipitación pluvial media o baja, las humedades de prueba serán constantes e iguales a la humedad óptima de compactación (variante 1).

En regiones de precipitación media, con drenaje deficiente donde se construyan terraplenes muy bajos y existan cortes con filtraciones en la cama del mismo, o bien, en las obras localizadas en regiones de alta precipitación, las humedades cambiarán de acuerdo con el grado de compactación de que se trate (variante 2).

Las humedades de prueba se indican en la siguiente tabla:

Grado de compactación %	Variante -1	Variante -2
100	ω_0	ω_0
95	ω_0	$\omega_0 + 1.5 \%$
90 - 95	ω_0	$\omega_0 + 3.0 \%$

TABLA No. 2

En el caso de suelos finos no es conveniente reproducir compactaciones menores de 85%.

EQUIPO UTILIZADO:

- Molde para compactación Pórtier provisto de collarín y base.
- Máquina de compresión con capacidad mínima de 30 ton.
- Varilla metálica de $\varnothing 3/4"$, con punta de bala.
- Torreta para compactar . (Fig. 18).
- Charola de lámina.
- Cucharón de lámina.
- Probeta graduada de 1000 ml.
- Probeta graduada de 500 ml.
- Báscula de 20 kg.
- Cápsulas de aluminio.
- Hojas de papel filtro.
- Horno de temperatura constante.
- Criba N-4
- Criba de 1"

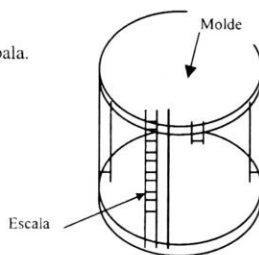


Fig. - 18

EQUIPO PARA PENETRACIÓN:

- Marco de compresión con anillo de carga, provisto de penetrómetro.
- Placas de carga con un peso total de 4.525 kg.
- Micrómetro de 20 mm.

Antes de iniciar la prueba deberán pesarse 5 kg. de suelo, calculando su contenido de humedad, la altura a la que se va a compactar dentro del molde y el agua a agregar.

Los datos necesarios son:

- Humedad de la muestra que se preparó (ωm)
- Humedad óptima Proctor o Pórtier (ωo)
- Peso volumétrico Proctor o Pórtier (γm)
- Peso volumétrico seco (γd)
- Peso del material que se preparó (Pw)
- Área del molde (am)
- Altura del molde (hm).

CÁLCULO PARA COMPACTAR UN ESPÉCIMEN AL 95%

(Variante - 2).

1- γd al 95 %

$$\gamma d \times .95$$

2 - γm al 95%

$$(\gamma d \text{ al } 95\%) \{ [(\omega o + 1.5\%) / 100] + 1 \} = (\text{kg/cm}^3.)$$

3 - Volumen

$$V = \frac{Pw \text{ en gr.}}{\gamma m \text{ al } 95\%} = (\text{cm}^3.)$$

4. Altura del espécimen (hi)

$$hi = \frac{V}{am} = (\text{cm.})$$

5 - Altura faltante

$$h_m - h_i = (\text{cm.})$$

6 - Agua a agregar

$$P_w \text{ en gr. x } \frac{1 + \omega_o - \omega_m}{100 + \gamma_m} = (\text{cm}^3.)$$

EJEMPLO. - Para compactar un espécimen al 95% con el γ_d máximo y la humedad óptima de la Prueba Próctor Estándar.

Datos Necesarios:

- $\omega_m = 2.9 \%$
- $\omega_o = 24.10 \%$
- $\gamma_d = 1.570 \text{ kg/cm}^3$.
- $P_w = 5000 \text{ gr.}$
- $a_m = 181.459 \text{ cm}^3$.
- $h_m = 17.8 \text{ cm.}$

$$1.- \gamma_d = 1.570 \times 0.95 = 1.492 \text{ kg/cm}^3,$$

$$2.- \gamma_m = 1.492 \times 1.256 = 1.874 \text{ kg/cm}^3,$$

$$3.- V = \frac{5000}{1.874} = 2668 \text{ cm}^3,$$

4.- Altura del espécimen:

$$\frac{2668}{181.46} = 14.70 \text{ cm.}$$

5. - Altura faltante en molde:

$$17.8 - 14.70 = 3.10 \text{ cm.}$$

6. - Agua a agregar

$$5000 \times \frac{25.1 - 2.9}{102.9} = 1079 \text{ cm}^3.$$

DESARROLLO DE LA PRUEBA:

- a) Una vez que se tienen los cálculos del agua por agregar y la altura del espécimen, la porción de 5 kg. del suelo preparado se deposita en la charola, se le agrega el agua calculada mezclándola perfectamente hasta lograr una distribución uniforme de la humedad. Ya que el suelo está perfectamente homogeneado se pesan 5 kg. Del mismo, restando así el peso del agua calculada.
- b) En el molde de compactación se introduce más o menos la tercera parte del suelo a fin de formar la primera capa, picando el suelo con la varilla 25 veces en forma uniformemente distribuida. Hecho lo anterior, se hace lo mismo con las otras dos partes, procurando que al picar, no se introduzca la varilla en las capas inferiores.
- c) Una vez terminada la última capa, se coloca una hoja de papel filtro sobre la parte superior del suelo, enseguida se coloca el molde con el suelo en la máquina de compresión, se pone la torreta sobre el suelo aplicando carga uniforme lentamente hasta llegar a la máxima, leyendo en la escala la altura del suelo faltante. (Pérdida de volumen por compresión) Fig. - 19.
- d) Se mantiene la carga máxima un minuto, después se descarga lentamente.
- e) Ya sin carga, se retira el molde de la máquina de compresión.
- f) El espécimen compactado se satura durante 72 horas para obtener su grado de expansión.
- g) Transcurrido el tiempo indicado en el inciso f), el espécimen compactado se sujeta a la Prueba de Penetración, tal como se describe en la prueba de valor relativo de soporte, calculando y graficando en la forma correspondiente (lámina No. 3).

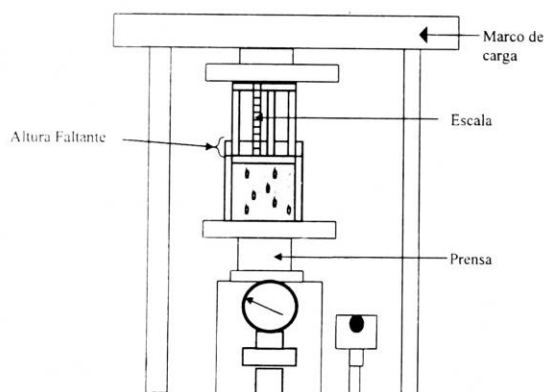


Fig. - 19

REFERENCIAS

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Alfonso Rico - Hermilo del Castillo. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Vol. I y II. México, 1984.
3. Fernando Olivera Bustamente. *Estructuración de vías terrestres*. México, 1986.
4. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnica Aplicada*. U.A.M. México, 1967.
5. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M. México, 1995.

VIII. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO IN SITU (PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN)

La prueba del peso volumétrico seco en el lugar, encuentra su principal aplicación durante la construcción de las terracerías. Se utiliza también en pavimentos ya construidos para conocer el grado de compactación que alcanzan los suelos que forman dicha estructura, así como para encontrar el coeficiente de abundamiento de los suelos en préstamos o bancos a fin de definir el tipo de equipo a utilizar para el transporte del material o bien para su colocación en el terraplén.

La prueba del peso volumétrico seco debe efectuarse a todas las capas del terraplén en construcción y en un número de lugares o puntos como el encargado del proyecto lo estime conveniente, encontrándose el grado de compactación alcanzado por el material en la obra, posteriormente se comparan los pesos volumétricos obtenidos en el laboratorio y el peso volumétrico máximo alcanzado en el campo con su humedad óptima Próctor o Pórtor. La relación de los dos pesos volumétricos secos se expresa como porcentaje de compactación.

MÉTODOS PARA LA DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO

- Método de la arena.
- Método del aceite.
- Método del cono.
- Método del agua.

En este trabajo analizaremos los métodos de la arena, aceite y cono.

• MÉTODO DE LA ARENA Y ACEITE EQUIPO:

- Espátula de abanico
- Espátula larga
- Cíncel de 20 cm.
- Martillo o maceta.
- Regla de 30 cm. de longitud
- Balanza de 2.610 kg. de capacidad.
- Bolsas de plástico
- Arena lavada y seca, clasificada en dos cribas No. 20 (0.84 mm.) y la No. 30 (0.59 mm.), previamente calibrada. (Arena de Ottawa u otro tipo de arena de características similares).

Para el método del aceite, además del equipo antes descrito, se utilizará el siguiente:

- Aceite para automóvil de viscosidad S.A.E. 40 o 50
- Probeta graduada de 1000 ml.
- Regla de 10 cm. de longitud.

CALIBRACION DE LA ARENA

Con una arena seca y limpia, se llena un recipiente de volumen y peso conocidos, dejándola caer hasta que forme un chorro lo mas regular posible y desde una altura constante de 10 cm., sin tratar de compactarla.

Una vez que el recipiente se encuentra lleno, se enrasa y se pesa, obteniéndose el peso volumétrico de la arena, al dividir el peso de la arena entre el volumen del recipiente.

Esta operación deberá repetirse cuando menos 10 veces, para obtener el promedio de los resultados.

DESARROLLO DE LA PRUEBA

- a) Al realizar la prueba, se hará una excavación (cala) en el suelo, cuyo peso volumétrico se quiera determinar, las dimensiones de la cala deberán ser aproximadamente las siguientes:

Para suelos finos que pasen la criba No. 4, se hará una cala de 12 cm. por lado y una profundidad igual al espesor de la capa donde se este efectuando la prueba. Para suelos que contengan agregados gruesos, la cala será de 25 y 30 cm. por lado y profundidad igual al espesor de la capa analizada.

- b) Todo el suelo extraído de la cala, se pesa y se deposita en bolsas de plástico evitando la pérdida de humedad antes de llegar al laboratorio.
- c) Se obtiene el peso de una cantidad suficiente de arena (de características conocidas) que pueda llenar la cala, anotando el peso inicial (P_i). Después se llena la cala con la arena dejándola caer desde una altura constante de 10 cm., anotando el peso final (P_f). La diferencia de P_i y P_f será el peso de la arena que llenó la cala.
- d) El suelo que se extrajo de la cala, se lleva al laboratorio y se le determina el contenido de agua en porcentaje.

Los datos para el cálculo de la prueba son:

- Peso del suelo extraído de la cala (Wm)
- Peso volumétrico de la arena (γ_a)
- Peso de la arena que llenó la cala (Wac)
- Peso volumétrico seco de la cala (γ_c)
- Peso volumétrico Próctor o Pórtor (γ_p)
- Humedad del suelo (ω %)

CÁLCULO

1. - Volumen de la cala

$$V = \frac{W_{ac}}{\gamma_a} \quad (\text{cm}^3.)$$

2. - Peso volumétrico húmedo de la cala

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V} = (\text{T/m}^3.)$$

3. - Peso volumétrico seco de la cala

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{[\omega\% / 100] + 1} = (\text{T/m}^3.)$$

- 4.- Porcentaje de compactación

$$\% \text{ de compactación} = \frac{\gamma_d}{\gamma_p} \times 100$$

EJEMPLO:

- Wm = 2.305 kg.
- γ_a = 1.674 T/m³.
- ω = 23.4%
- γ_p = 1.570 T/m³.
- Wac = 2.060 kg.

$$1. - V = \frac{2.060}{1.674} = 1.231 \text{ cm}^3.$$

$$2. - \gamma_m = \frac{2.305}{1.231} = 1.872 \text{ T/m}^3.$$

$$3. - \gamma_d = \frac{1.872}{1.234} = 1.517 \text{ T/m}^3.$$

$$4. - \% \text{ de compactación} = \frac{1.517}{1.570} \times 100 = 97\%$$

(Ver lamina No. 4).

- e) El método del aceite se utiliza cuando el suelo no presenta huecos por donde este pueda fugarse.
- f) Para hacer la cala se siguen los pasos indicados en los párrafos a) y b).
- g) La cala se llena con el aceite, previamente medido en la probeta graduada.

CÁLCULO:

Como ya se conoce el volumen de la cala medido con el aceite de la probeta, el cálculo es similar al descrito con anterioridad, con los pasos 2, 3 y 4.

MÉTODO DEL CONO

En este ensayo, se requiere además del equipo antes descrito, el siguiente:

- Cono con válvula de paso, frasco de vidrio de 4 litros y placa base (Fig. 20).
- Báscula de 20 kg. de capacidad.

El total de la arena por aplicar, se calibra como ya se ha indicado; posteriormente se determina el peso de la arena necesaria para llenar el cono y el orificio de la placa base, esto se hace cuantas veces sea necesario, hasta obtener un valor representativo.

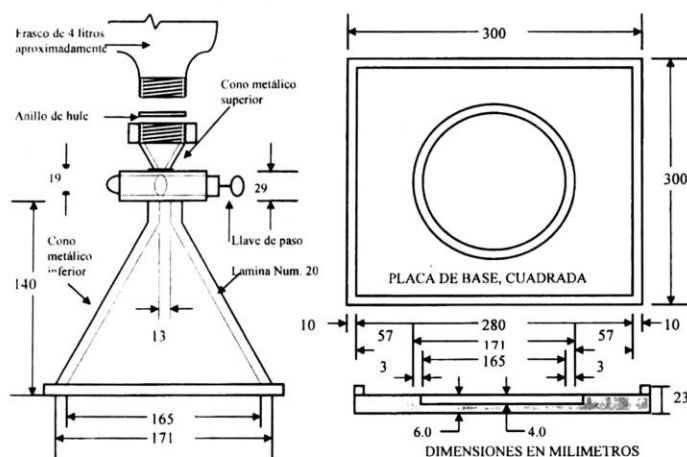


Fig. - 20

EJECUCIÓN DE LA PRUEBA.

- En la capa de suelo cuyo peso volumétrico se desea conocer, se hará una excavación (cala) de un diámetro análogo al de la placa base ó menor a una profundidad de 20 cm. o igual al espesor de la capa del suelo que se compactó.
- El material que se extrae de la cala, se pesa y se deposita en bolsas de plástico.
- Una vez que se ha terminado de excavar la cala, se le coloca encima la placa, el cono provisto con el frasco de vidrio y la arena previamente pesada.
- Se abre la válvula para que la arena llene la cala, la placa base y el Cono.
- Se cierra la válvula y se pesa el cono con el frasco, como conocemos el peso de la arena que se empleó para llenar el cono y el orificio de la placa base así como el peso del cono con el frasco, se calcula la arena que quedó en la cala.
- El suelo producto de la excavación de la cala, se traslada al laboratorio, y se le determina su contenido de agua en porcentaje.

DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PESO DE LA ARENA VACIADA EN LA CALA:

1. Peso del frasco + cono + arena, antes de vaciar en la cala (P_i).
2. Peso del frasco + cono + arena, después de vaciar en la cala (P_f).
3. Peso de la arena en el cono y orificio de la placa base (peso determinado) (acpl).
4. Peso del cono + frasco (cf).

CÁLCULO:

$$a) P_{ia} = P_i - cf = (kg.)$$

DONDE:

P_{ia} = Peso inicial de la arena en el frasco antes de vaciar en la cala.

$$b) P_{fd} = P_f - cf = (kg.)$$

DONDE:

P_{fd} = Peso final de la arena en el frasco después de vaciar en la cala.

$$c) P_{ac} = P_{ia} - P_{fd} = (kg.)$$

DONDE:

P_{ac} = Peso final de la arena en la cala.

EJEMPLO:

- $P_i = 7.389$ kg. --- Peso del frasco + cono + arena.
- $P_f = 2.372$ kg. --- Peso del frasco + cono + arena después de vaciar en la cala.
- $acpl = 1.442$ kg. --- Peso de la arena en el cono y orificio de la placa base.
- $cf = 1.687$ kg. --- Peso del cono + frasco.

$$a) P_{ia} = 7.389 - 1.687 - 1.442 = 4.260 \text{ kg.}$$

$$b) P_{fd} = 2.382 - 1.687 = 0.685 \text{ kg.}$$

$$c) P_{ac} = 4.260 - 0.685 = 3.575 \text{ kg.}$$

Una vez obtenido el peso de la arena depositada en la cala, se realizan los cálculos de acuerdo con lo descrito en los dos métodos anteriores.



CONTROL DE COMPACTACION

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA - AZCAPOTZALCO

OBRA	FECHA
ESTACION	LABORATORISTA
ELEVACION	OBSERVACIONES

CALA NO.	1	2	3	4	5
----------	---	---	---	---	---

SUELO EXCAVADO

Peso material humedo + tara (gr.)					
Peso tara No (gr.)					
Peso material humedo (gr.)					
Peso material humedo (gr.)	1153.1	1179.6	1267.6	1022	1132

VOLUMEN CALA

Peso inicial recipiente + arena (gr.)					
Peso final recipiente + arena (gr.)					
Peso arena en cala y cono (gr.)					
Peso arena en cono (gr.)					
Peso arena en cala (gr.)	1157.6	1188.3	1294.8	1132	1162
Peso volumetrico arena (gr/cm ³)	1.705	1.705	1.705	1.705	1.705
Volumen de cala (cm ³)	678.94	696.95	759.41	605.27	681.52

CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso humedo + tara (gr.)	86.7	72.7	92.5	87.9	83.7
Peso seco + tara (gr.)	72.3	61.5	77	73.9	70.6
Tara No (gr.)	33	29	5	28	35
Peso tara (gr.)	16.2	16.8	16.5	16.2	16.5
Peso seco "Ws" (gr.)					
Peso agua "Ww" (gr.)					
Humedad (%)	25.67	25.06	25.62	24.26	24.21
Peso volumetrico seco (T/m ³)	1.35	1.353	1.328	1.36	1.337

GRADO DE COMPACTACION

Peso volumetrico maximo T/m ³)	1.407	1.407	1.407	1.407	1.407
Grado de compactacion (%)	96	96	94	97	95

LAMINA No. 4

REFERENCIAS

1. Secretaria de Recursos Hidráulicos. *Manual de Mecánica de Suelos*, Tomo I. México, 1967.
2. Juárez Badillo - Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos*, Tomo I. Tercera Edición. México, 1990.
3. Alfredo I. Martínez. *Exploración, muestreo y ensaye de suelos*. E.S.I.A. I.P.N.
4. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnica Aplicada*. U.A.M. México, 1967.
5. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M.México, 1995.



IX. PRUEBA DE VALOR CEMENTANTE.

Con este ensayo se determina el poder de cementación de un suelo fino que pasa la criba No. 4, el cual puede formar parte de un suelo granular compacto y seco. El valor cementante de un suelo depende de la forma y acomodo de las partículas del mismo, así como de la rugosidad y plasticidad de los finos y otras propiedades que tienen relación con la composición química del suelo. Esta prueba se recomienda realizar, a aquellos suelos de sub-base o base que carezcan de contracción lineal y por lo tanto puedan ser de fácil disgregación, y que por ser arenosos, no posean un valor cementante mínimo.

EQUIPO:

- Molde de lámina de sección cuadrada de 7.6 cm. de lado y 10 cm. de altura. (Fig. - 21).

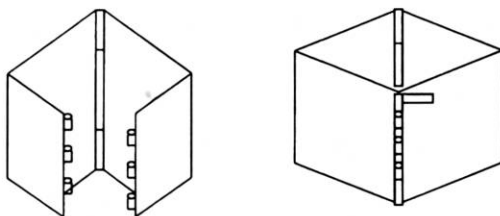


Fig.-21

- Placa metálica para compactar. (Fig. 22).
- Tubo guía de 53 cm. y varilla de impactos.
- Criba No. 4.
- Charola
- Cucharón
- Máquina de compresión con anillo de carga.
- Horno de temperatura constante.

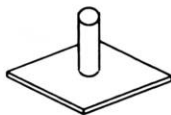


Fig.-22

Antes del inicio de la prueba, deberá calcularse el agua por agregar. Para ello es necesario contar con los siguientes datos:

$$P_w \times \frac{(1 + \omega_o) - \omega_m}{100 + \omega_m}$$

DONDE:

- P_w = Peso del suelo que se preparó
- ω_m = Humedad del suelo
- ω_o = Humedad óptima Prôctor o Pórtér

EJEMPLO:

- P_w = 3.0 kg.
- ω_m = 4.05 %
- ω_o = 15.2 %

$$3000 \times \frac{(1 + 15.2) - 4.05}{100 + 4.05} = 350 \text{ cm}^3. \text{ Agua por agregar.}$$

DESARROLLO DE LA PRUEBA:

- a) Una vez que se tiene el volumen de agua por agregar, una porción de 3 kg. de suelo ya preparado se deposita en la charola, agregándole el agua calculada y mezclándolo perfectamente hasta lograr una distribución uniforme de la humedad.
- b) Cuando el suelo está perfectamente mezclado con el agua, se divide en tres partes para efectuar la prueba por triplicado, compactando tres especímenes o muestras de suelo, los cuales deberán tener al final la misma altura.

Los especímenes deberán construirse utilizando tres capas.

- c) Para formar la primera capa, en un molde previamente armado se introduce suelo, hecho lo anterior se coloca la placa metálica sobre el suelo, se introduce el tubo guía y se apisona con 15 golpes usando la varilla de impactos (Fig. 23). (La varilla impacta sobre la placa metálica que compacta el suelo).

Una vez apisonada la primera capa, se escarifica para que la siguiente tenga buena adherencia.

- d) Se vuelve a vaciar suelo en el molde para formar la segunda capa, compactándola igual que la primera y escarificándola.
- e) De igual forma se trabaja con la tercera capa, procurando que ya compactada la superficie esté a la altura del molde.

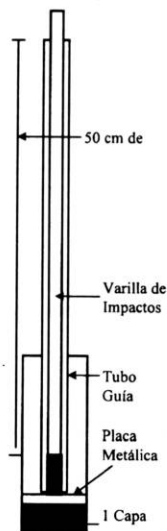


Fig. 23

- f) El molde con el espécimen se coloca en el horno a una temperatura de 40°C, manteniéndolo en él hasta que el suelo pierda suficiente humedad que permita la extracción. Una vez que se retira el suelo del molde se continúa el secado a una temperatura de 110° C por 16 horas, tiempo en que se considera que el suelo está totalmente seco.
- g) Se saca el espécimen del horno y se deja enfriar, ya frío, se miden las alturas de las cuatro caras, así como la distancia entre caras opuestas, tanto en la parte superior, media e inferior y posteriormente se pesa.
- h) Ya seco el espécimen, se lleva a la máquina de compresión, conservando la posición en que fue compactado, colocando placas de cartón en la parte superior e inferior del espécimen, ó bien cabeceándolo con azufre o con una mezcla de arena y yeso.

- i) Se aplican las cargas necesarias hasta que el espécimen llegue a la falla, tomándose la última lectura del anillo de carga y la deformación en el micrómetro (Fig. - 24).

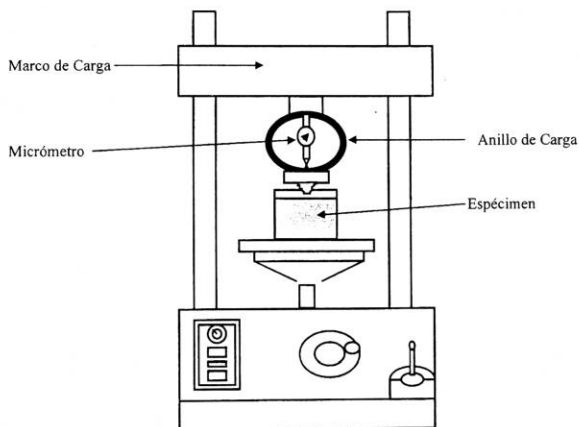


Fig. - 24

- j) El valor cementante buscado, se considera que es el promedio de la resistencia a la compresión sin confinar, obtenida al realizar la prueba de los tres especímenes y se expresa en kg/cm^2 .

Para fines de cálculo, si alguno de los valores de resistencia discrepa notoriamente de los otros dos, se puede desechar o realizar nuevamente la prueba.

REFERENCIAS

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Alfonso Rico - Hermilo del Castillo. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Vol. I y II. México, 1984.
3. Fernando Olivera Bustamente. *Estructuración de vías terrestres*. México, 1986.
4. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M.México, 1995.

X. PRUEBA DEL EQUIVALENTE DE ARENA

En vías terrestres se utiliza para conocer en forma rápida la proporción de suelos finos arcillosos que puedan hacer disminuir la calidad de los suelos formados por materiales gruesos o agregados pétreos susceptibles de utilizarse formando parte de las terracerías o el pavimento de un camino.

EQUIPO:

- Dos cilindros de material plástico transparente graduados. (1 de la fig. -25)

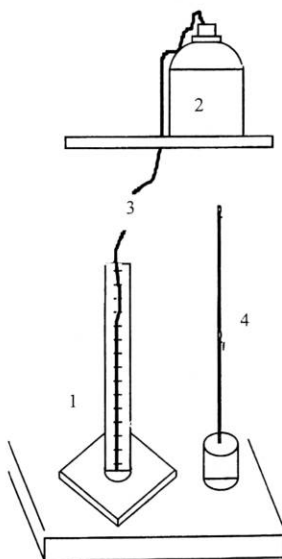


Fig.-25

- Tubo irrigador de cobre de 1/4". Uno de los extremos estará cerrado en forma de cuña. Cerca de la punta del lado plano de la cuña, tendrá dos perforaciones hechas con la broca No. 60 (1.05 mm.).
- Una botella con capacidad de un galón, con equipo de sifón consistente en un tapón con orificios y un tubo doblado de cobre o latón. (La botella se coloca a un metro aproximadamente de la mesa de trabajo). (2 de la Fig. 25).
- Tramo de manguera de látex de 3/16 con pinza de Hoffman. Esta manguera se usa para conectar el irrigador con el sifón (3 de la Fig. 25).

- Pisón con varilla metálica de 1/4" de diámetro y 17" de longitud, con base cónica de 1" de diámetro en su extremo inferior. En el extremo superior la varilla llevará adaptado un lastre para obtener un peso total en el dispositivo de 1 kg. (4 de la Fig. 25).

- Cápsulas de aluminio.
- Embudo
- Criba No. 4 con fondo.
- Cronómetro
- Solución consistente en:
 Cloruro de calcio anhidro 454 gr.,
 Glicerina VSP 1640 ml.
 Formaldehído al 40, 54 ml.
 Probeta graduada o tubo de ensaye
 Pisón

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Se disuelve el cloruro de calcio en medio galón de agua, posteriormente se hace el filtrado de esta solución, utilizando papel filtro Whatman 12 o su equivalente.

Una vez filtrada la solución, se le agrega la glicerina y el formaldehído, mezclándola perfectamente y agregándole de agua necesaria, hasta completar el galón, si hace falta. El agua puede ser destilada o potable.

Para realizar las pruebas, 88 ml. de la solución anterior volverán diluirse en un galón de agua destilada o potable y el sobrante deberá guardarse manteniéndola bien tapada.

PREPARACIÓN DEL SUELO

El suelo con el que se realizará la prueba se pasa por la criba No. 4; el porcentaje que pasa se frota con las manos para disgregar al máximo el suelo, depositando en las cápsulas de aluminio aproximadamente 110 gr.

DESARROLLO DE LA PRUEBA

- a) La solución se vierte en la probeta graduada hasta que llegue a la marca de 4".
- b) El suelo contenido en la cápsula de aluminio, también se vierte en la probeta (Fig. 26).
- c) La base de la probeta graduada se golpea firmemente varias veces contra la palma de la mano, para hacer que salga cualquier burbuja de aire atrapado, así como acelerar la saturación del suelo. Dejando reposar la mezcla durante 10 minutos.

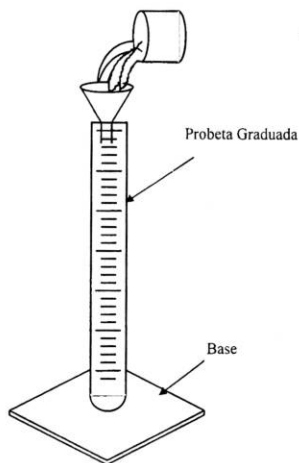


Fig.- 26

d) Transcurrido este tiempo, se tapa la probeta y se agita vigorosamente de un lado a otro, manteniéndola en posición horizontal, hasta completar aproximadamente 90 ciclos en 30 segundos, con una carrera de aproximadamente 8". Un ciclo consiste en un movimiento completo de oscilación. Para agitar satisfactoriamente la muestra a esta frecuencia, será necesario que el operador agite solamente con los antebrazos relajando el cuerpo y los hombros. (Fig. - 27)

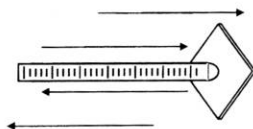


Fig. -27

e) Terminado el agitado se quita el tapón de la probeta y se inserta el tubo irrigador, se abre la pinza Hoffman, enjuagando las paredes de la probeta para quitar el suelo adherido. Después se coloca el irrigador de tal forma que llegue hasta el fondo de la probeta, suspendiéndolo e introduciendo solución mediante un movimiento suave de picado y en forma simultánea girando la probeta lentamente, con el fin de separar el suelo fino del arenoso. (Fig. 28).

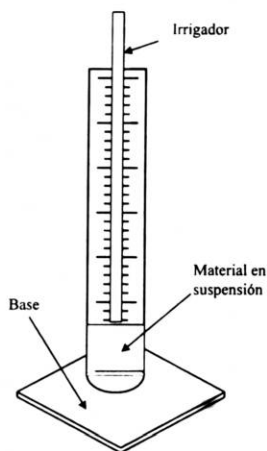


Fig. - 28

- f) Cuando el líquido esté a punto de llegar a la marca de 15", se sube lentamente el tubo irrigador sin cortar el chorro, de manera que el nivel del líquido se mantenga aproximadamente en 15". El chorro se regula antes que el tubo esté completamente afuera ajustándolo al nivel final de 15".
- g) Se deja reposar la suspensión durante 20 minutos. Cualquier vibración o movimiento del cilindro o probeta graduada, durante este tiempo, alterará el asentamiento normal de los suelos en suspensión provocando resultados erróneos.
- h) Transcurrido el tiempo, se anota el nivel superior de los finos en suspensión. Se hace la lectura con aproximación de 0.1" (hl).
- i) Una vez que la suspensión se ha estabilizado, se introduce lentamente el pisón dentro del cilindro hasta que éste descansa sobre la arena, se gira la varilla sin empujarla hasta que pueda verse el pie cónico en su parte inferior, anotando el nivel correspondiente a la parte inferior del pie cónico (h2) (Fig.- 29). Por lo general se hacen dos pruebas del mismo suelo y los resultados se promedian.

CÁLCULO:

$$Ea = \frac{h2}{h1} \times 100 = \%$$

DONDE.

Ea = Equivalente de arena.

EJEMPLO:

$$1.- Ea = \frac{3.3}{8.0} \times 100 = 41.25\%$$

$$2.- Ea = \frac{3.1}{7.9} \times 100 = 39.24\%$$

$$Ea = \frac{41.25 + 39.24}{2} = 40.25\%$$

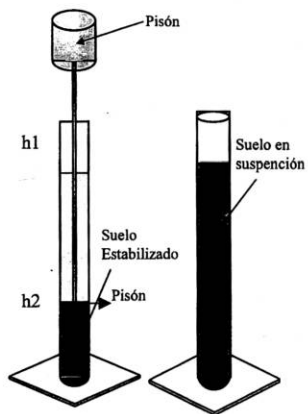


Fig. - 29

REFERENCIAS

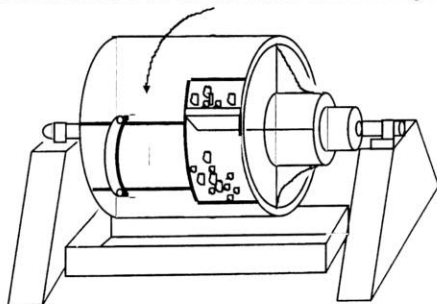
1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Alfonso Rico - Hermilo del Castillo. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Vol. I y II. México, 1984.
3. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M.México, 1995.

XI. PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ANGELES

La finalidad de este ensayo, es conocer la calidad en cuanto a desgaste de cualquier material pétreo, se considera una medida indirecta del grado de alteración alcanzado por los materiales, observándose también la presencia de planos de debilitamiento o cristalización que provocan una desintegración de las partículas del mismo. También puede indicar en forma ocular la presencia de material en forma de laja, cuyas aristas vivas sean producto de una ruptura.

EQUIPO:

- Máquina de abrasión de Los Angeles, constituida por un cilindro de acero hueco, cerrado en ambos extremos con un diámetro interior de 71.1 cm. y una longitud de 50.3 cm. El cilindro está montado sobre ejes fijos a las bases pero que no se proyectan al interior, de manera que pueda girar sobre su eje en una posición horizontal con velocidad angular de 30 a 33 rev/min. Esta provisto de una abertura para la introducción del material, la cual podrá cerrarse herméticamente por medio de una cubierta provista de dos pernos y diseñada a manera de conservar el contorno de la superficie interior. El cilindro llevará en su parte interior una placa de acero removible de 1" de espesor, la cual se proyecta radialmente 3 1/2" sobre el cilindro en toda su longitud. (Fig. - 30).



Máquina de Abrasión de los Angeles

Fig. 30

- Esferas de hierro fundido o acero de 17/8" ϕ y peso entre 390 y 445 gr.
- Cribas 3", 2 1/2", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", No. 4, No. 8 y No. 12.
- Charolas de lámina.
- Horno
- Balanza de 20 kg. de capacidad.

DESARROLLO DE LA PRUEBA

- a) La muestra original de suelo se lava para eliminar el polvo que lleven adheridas las partículas, hecho lo anterior se seca en el horno y se pesa (Peso inicial P_i).
- b) La muestra una vez seca y lavada se pasa a través de las cribas para conocer su graduación y formar una granulometría que vaya de acuerdo a lo indicado en la tabla No. 1. Seleccionando para la prueba la que más se asemeje a la granulometría propuesta para la carpeta asfáltica. Si la muestra está formada por trozos de roca, deberán triturarse hasta alcanzar las granulometrías indicadas. Esta tabla proporciona la información de las cantidades de material y sus tamaños respectivos que pueden utilizarse en la prueba, así como la carga abrasiva y el número de revoluciones que deberán aplicarse a la máquina.
- c) La muestra que previamente ya se ha pesado, se coloca junto con las esferas en la máquina, que se hace girar hasta completar el número de revoluciones especificadas.
- d) Posteriormente la muestra se extrae de la máquina y se lava a través de la criba de 1/2", el retenido en la malla se seca al horno.
- e) Una vez seca, se obtiene su peso final (P_f).

CÁLCULO:

$$\text{Pérdida por desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

DONDE:

P_i = Peso inicial.

P_f = Peso final

TIPO	TAMAÑO	PESO DE LA MUESTRA EN GR.	CARGA ABRASIVA No DE ESFERAS	PESO EN GR.	No. DE REVOLUCIONES
A	DE 1 1/2" A 1"	1250	12	5000 \pm 25	500
	DE 1" A 3/4"	1250			
	DE 3/4" A 1/2"	1250			
	DE 1/2" A 3/8"	1250			
B	DE 3/4" A 1/2"	2500	11	4584 \pm 25	500
	DE 1/2" A 3/8"	2500			
C	DE 3/8" A 1/2"	2500	8	3330 \pm 20	500
	DE 1/2" A No. 4	2500			
D	DE No. 4 A No. 8	5000	6	2500 \pm 15	500
E	DE 3" A 2 1/2"	2500	12	5000 \pm 25	1000
	DE 2 1/2" A 2"	2500			
	DE 2" A 1 1/2"	2500			
F	DE 2" A 1 1/2"	5000	12	5000 \pm 25	1000
	DE 1 1/4" A 1"	5000			
G	DE 1 1/2" A 1"	5000	12	5000 \pm 25	1000
	DE 1" A 3/4"				

TABLA No. 1

REFERENCIAS.

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Fernando Olivera Bustamante. *Estructuración de Vías Terrestres*. México, 1986.
3. Alfredo I. Martínez. *Exploración, muestreo y ensaye de suelos*. E.S.I.A. I.P.N.
4. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnica Aplicada*. U.A.M. México, 1967.
5. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M. México, 1995.

XII. PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO

Con este ensayo se puede conocer la resistencia al intemperismo de cualquier agregado y consiste en someter los distintos tamaños de éste a la acción alternada de inmersión en solución de sulfato de sodio y secado.

La saturación de los agregados con solución de sulfato de sodio, origina la penetración de dicha solución en los poros o agrietamientos que pueda presentar el material en estudio, ocasionando que por la sobresaturación se produzca un aumento de volumen, lo cual origina expansiones en el interior del agregado. Si este no es lo suficientemente resistente se produce la ruptura.

De acuerdo con la presencia de una mayor o menor desintegración del agregado causada por agrietamiento, ruptura o pérdida de peso para un tamaño dado, se define la resistencia del material a la intemperie:

Los resultados obtenidos en esta prueba se pueden considerar de poca o mucha importancia, dependiendo de las condiciones, por ejemplo cuando las estructuras de concreto están bajo la influencia de climas poco variables, o cuando son frecuentemente bañadas por aguas salinas.

Puede ser muy importante, principalmente cuando no se cuenta con la información adecuada del comportamiento de los materiales expuestos a las condiciones de intemperismo existentes en la región. En caminos conviene realizar esta prueba cuando se tengan dudas de la calidad del material que va a emplearse principalmente en la construcción de carpetas asfálticas.

EQUIPO:

- Charolas de lámina
- Horno
- Balanza de 20 kg. de capacidad
- Termómetro
- Solución de sulfato de sodio (sal)

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN:

- a) Al preparar la solución, se emplean 350 grs. de sal anhidra por un litro de agua a una temperatura de 25 a 30° C.
- b) Agitar el agua en forma vigorosa durante la adición de la sal, repitiendo este paso frecuentemente hasta que la solución sea usada. Se procurará conservar cubiertos los recipientes de la solución mientras no sean utilizados, a fin de prevenir la contaminación y reducir la evaporación.

- c) Antes de cada uso, se rompe la costra de sal en el recipiente agitando vigorosamente.

DESARROLLO DE LA PRUEBA

- a) La muestra que se va a ensayar, se somete a un proceso de secado.
- b) Una vez que la muestra esta seca, se pesa, además se anota en el registro, el número de partículas.
- c) La muestra se sumerge en la solución de sulfato de sodio por un período de 16 a 18 horas, cuidando que el nivel de la solución se encuentre por lo menos 2 cm. por encima del agregado más alto, para reducir la evaporación el recipiente se mantiene cubierto todo el tiempo conservando una temperatura de $\pm 21^{\circ}\text{C}$.
- d) Después del periodo de inmersión, se extraen los agregados y se dejan secar a la intemperie durante 15 min., después, se introducen al horno a una temperatura constante de 110°C .
- e) Se repite el procedimiento de inmersión y secado cinco veces al mismo agregado o muestra.
- f) Al final de los ciclos, los agregados se lavan con circulación de agua. Las muestras no se someten a impactos o abrasión que puedan romperlos.
- g) Cuando la solución superficial ya fue removida totalmente de los agregados, se secan en el horno a 110°C .
- h) Los agregados ya secos se pesan. La diferencia entre el peso inicial y el peso final es la pérdida en el ensaye y se expresará como un porcentaje del peso inicial.
- i) El reporte deberá incluir:
1. Peso de la muestra y número de piezas que la componen.
 2. Pérdida de peso en porcentaje.
 3. Clasificación de los efectos de la prueba en cada muestra.
 4. Número de partículas en las que se desintegró.
 5. Presencia de hendiduras, desmoronamientos, cuarteaduras, escamas y desgarraduras.

REFERENCIAS

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (Parte novena). México, 1967.
2. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnia Aplicada..* U.A.M. México, 1997.
3. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnia.* U.A.M. México, 1995.

XIII. PRUEBA DE CONTRACCIÓN LINEAL

La Contracción Lineal, es función de la plasticidad de un suelo, siendo casi nula para los suelos de características arenosas y aumentando a medida que se trata de un suelo fino con alta plasticidad.

Se define como la reducción del volumen realizando la medición en una de sus dimensiones y expresada como porcentaje de la dimensión original, en el instante en que la humedad disminuye a la que corresponde al límite de contracción.

EQUIPO:

- Cápsula de porcelana
- Espátula larga
- Moldes de lámina galvanizada de 10 X 2 X 2 cm. (dimensiones interiores)
- Horno de temperatura constante.

DESARROLLO DE LA PRUEBA:

- a) Para determinar la contracción lineal, se utilizará el suelo que contenga la humedad del límite líquido (25 golpes).
- b) Con la mezcla de suelo y agua en las condiciones indicadas, se procede a llenar el molde de prueba, el cual deberá engrasarse previamente, para evitar que el suelo se adhiera a las paredes.
- c) El llenado del molde se efectuará en tres capas, golpeando el molde contra una superficie dura. Para verificar esta acción, se sujeta el molde de sus dos extremos y se golpea, procurando que el impacto lo reciba en toda su base. Esta operación continuará hasta que se logre la expulsión casi total del aire.
- d) Se enrasa el suelo en el molde (barra), utilizando la espátula larga.
- e) Se deja secar el suelo con el molde al aire libre, hasta que su color cambie de oscuro a claro.
- f) La barra o suelo dentro del molde se pone a secar en el horno y posteriormente se deja enfriar. Finalmente se mide la longitud de la barra de suelo con el calibrador.

CÁLCULO:

CL = Por ciento de contracción lineal, con respecto a la longitud original de la barra de suelo húmedo.

Li = Longitud del molde.

Lf = Longitud del suelo seco.

$$CL = \frac{Li - Lf}{Li} \times 100$$

REFERENCIAS

1. Secretaría de Obras Públicas. *Especificaciones generales de construcción* (parte novena). México, 1967.
2. Alfonso Rico - Hermilo del Castillo. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Vol. I y II. México, 1984.
3. Fernando Olivera Bustamente. *Estructuración de vías terrestres*. México, 1986.
4. Secretaria de Recursos Hidráulicos. *Manual de Mecánica de Suelos*, Tomo I. México, 1967.
5. Juárez Badillo - Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos*, Tomo I. Tercera Edición. México, 1990.
6. Alfredo I. Martínez. *Exploración, muestreo y ensaye de suelos*. E.S.I.A. I.P.N.
7. René Domínguez Peña. *Apuntes de Geotécnica Aplicada*. U.A.M. México, 1967.
8. Salvador Hernández Melgar. *Apuntes de Laboratorio de Geotécnica*. U.A.M. México, 1995.

*Guía para realizar pruebas de laboratorio
en materiales para terracerías y pavimentos*

Se terminó de imprimir en el mes de
marzo de 2009 en los talleres de la sección
de Impresión y Reproducción de la
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco

Se imprimieron 200 ejemplares
más sobrantes para reposición

La edición estuvo a cargo de la
sección de Producción y Distribución Editoriales
de la Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco

*El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha
señalada en el sello mas reciente*

Código de barras. 2893916

FECHA DE DEVOLUCION

[illegible]

- Ordenar las fechas de vencimiento de manera vertical.
- Cancelar con el sello de "DEVUELTO" la fecha de vencimiento a la entrega del libro

Guía para realizar prueba



2893916

GUIA PARA REALIZAR PRUEBAS DE LABORATORIO E
DOMINGUEZ PEÑA * SECCION DE IMPRESION

06019

R. 40



\$ 118.00

40-ANTOLOGIAS CBI * 01-CBI

ISBN: 970-654-511-8



978-97065-45114